

DELIMITAÇÃO DA LINHA MÉDIA DE ENCHENTES ORDINÁRIAS E ZONEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNCAÇÃO NO MUNICÍPIO DE GUAJARÁ-MIRIM/RO POR MEIO DE AEROLEVANTAMENTO

Alexandre Felipe Onorato Costa¹ ; Tatiane Emilio Checcia² & Thiago de Lima Martarole³

RESUMO – A relação entre ação humana e recursos hídricos é antiga, mas a urbanização desordenada intensifica o risco de inundações, principalmente em regiões como a Amazônia. Em Guajará-Mirim (RO), as cheias frequentes causam impactos econômicos e sociais, expondo a necessidade de um planejamento mais eficaz. Este estudo teve como foco delimitar a Linha Média de Enchentes Ordinárias (LMEO) e mapear áreas suscetíveis a inundações, usando aerolevantamento e dados hidrológicos para mitigar riscos e apoiar o desenvolvimento sustentável. A metodologia do estudo utilizou drones e GNSS/RTK para criar um Modelo Digital de Terreno (MDT) preciso, analisando áreas de risco baseadas em eventos de retorno de 3 a 100 anos. A análise confirmou que as zonas urbanas mais afetadas em Guajará-Mirim estão desprotegidas, reforçando a necessidade de medidas preventivas. A metodologia formulada e aplicada demonstrou-se eficiente e acessível, oferecendo subsídios para políticas de planejamento e zoneamento em áreas vulneráveis. Conclui-se que o zoneamento baseado em MDT é crucial para cidades amazônicas, permitindo um planejamento urbano que previna construções em áreas de risco e fomente práticas sustentáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU para tornar cidades mais seguras e resilientes até 2030.

Palavras-Chave – Risco hidrológico; MDT; Zoneamento hidrológico

ABSTRACT– The relationship between human activity and water resources is longstanding, but unregulated urbanization increases flood risks, especially in regions like the Amazon. In Guajará-Mirim (RO), frequent floods cause economic and social impacts, highlighting the need for more effective planning. This study focused on delineating the Mean Flood Line (LMEO) and mapping areas susceptible to flooding, using aerial surveying and hydrological data to mitigate risks and support sustainable development. The study's methodology utilized drones and GNSS/RTK to create a precise Digital Terrain Model (DTM), analyzing risk areas based on return events ranging from 3 to 100 years. The analysis confirmed that the most affected urban zones in Guajará-Mirim are unprotected, emphasizing the need for preventive measures. The formulated and applied methodology proved to be both efficient and accessible, providing insights into planning and zoning policies in vulnerable areas. In conclusion, DTM-based zoning is crucial for Amazonian cities, enabling urban planning that prevents construction in high-risk areas and promotes sustainable practices. This aligns with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs), aiming to make cities safer and more resilient by 2030.

Key-words – Hydrological risk; DTM; Hydrological zoning.

1) Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia, Av. Lauro Sodré, 6500 - Aeroporto, Porto Velho - RO, (69) 2018-0200, alexandre.costa@sipam.gov.br

2) Universidade Federal de Rondônia, BR-364, 9 – Cidade Jardim, Porto Velho-RO, (69) 2182-2100, tatiane@unir.br

3) Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia, Av. Lauro Sodré, 6500 - Aeroporto, Porto Velho - RO, (69) 2018-0200, thiago.martarole@sipam.gov.br

INTRODUÇÃO

A interação entre a ação humana e os recursos hídricos é um fenômeno histórico que remonta a milênios, marcando o desenvolvimento de cidades e comunidades em regiões ribeirinhas devido à disponibilidade de água. No entanto, a urbanização desordenada e a falta de planejamento urbano adequado têm exacerbado os riscos de inundações, especialmente em regiões que sofrem com eventos hidrológicos extremos. A Amazônia, com sua complexa rede hidrográfica, é uma região particularmente vulnerável a esses fenômenos, gerando impactos significativos na ocorrência de enchentes, tanto em termos sociais quanto econômicos.

O município de Guajará-Mirim, em Rondônia, é um exemplo de região fronteira e de grande relevância econômica na região que enfrenta desafios associados às inundações devido à sua localização geográfica, na confluência dos rios Mamoré e Guaporé, e à falta de informações hidrológicas suficientes. A expansão urbana, sem as devidas medidas de controle e zoneamento, agrava a exposição da população aos riscos de inundação, como evidenciado pelas enchentes que, no início de 2023, destruíram residências, plantações e impactaram comunidades ribeirinhas e indígenas, comprometendo suas fontes de subsistência (Azevedo, 2023).

O processo de inundação é um processo natural dos rios e não necessariamente ocorre todos os anos. Diante dessa situação, Silva (2017) afirma que a população despreza o risco, apropriando-se dessas áreas e extrapolando os limites legais de ocupação, como os Terrenos Marginais, que corresponde a uma faixa de 15 metros entre a Linha Média das Enchentes Ordinárias – LMEO e a Linha Limite de Terrenos Marginais – LLTM (MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS, 2020).

A LMEO, por sua vez, é delimitada através da média das vazões máximas registradas por estações fluviométricas com uma série histórica mínima de 20 anos, conforme estabelece a Orientação Normativa GEADE nº 03 (BRASIL, 2021). Portanto, é essencial realizar estudos que compreendam a dinâmica dos eventos de cheia e identifiquem as áreas de maior suscetibilidade visando de minimizar esse tipo de risco.

Nesse contexto, Kwamme (2021) afirma que o uso de tecnologias como aerofotogrametria com drones e a criação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) surge como uma solução eficaz para o monitoramento e a análise altimétrica de regiões de risco. O presente trabalho visou delimitar a Linha Média de Enchentes Ordinárias (LMEO) e realizar o zoneamento de áreas suscetíveis à inundação em Guajará-Mirim, utilizando dados de aerolevantamento e informações hidrológicas para contribuir com o planejamento urbano e a segurança da população.

A justificativa para este estudo reside na necessidade de desenvolver ferramentas que auxiliem na previsão e na gestão de desastres naturais, fortalecendo a resiliência das cidades amazônicas. Além disso, a delimitação de áreas de risco pode subsidiar a criação de políticas públicas voltadas à preservação ambiental e à proteção de comunidades vulneráveis. O objetivo principal é, portanto, fornecer uma análise detalhada da região e propor soluções para mitigar os impactos das enchentes, promovendo o uso sustentável do solo e a proteção dos recursos hídricos.

Por fim, o presente estudo tem o intuito de corroborar com o Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de número 11 implementado pela Organização das Nações Unidas (ONU), tornando as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis até 2030 e contribuindo principalmente com a metas 11.5 deste objetivo que visa promover a redução significativa do número de pessoas afetadas por catástrofes naturais de origem hidrometeorológica e de pessoas residentes em áreas de risco.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo adotou uma abordagem metodológica quantitativa e exploratória, criando a metodologia por meio da associação de dados a partir do processamento imagens de drone, que possibilita a elaboração de MDT com escala centimétrica, e dados de níveis obtidos a partir análise dos dados hidrológicos do rio Mamoré, no município de Guajará-Mirim/RO. A metodologia foi dividida em cinco etapas principais.

A primeira etapa consistiu na definição da área de estudo, que abrangeu a região urbana de Guajará-Mirim, margeada pelo rio Mamoré, incluindo zonas com canais fluviais que sofram interferência do rio principal.

Na segunda etapa, procedeu-se à coleta de dados, que incluiu o uso de aeronaves remotamente pilotadas (drones) para captura de imagens da superfície terrestre. O planejamento de voo foi realizado no software Google Earth Pro, e as missões de voo foram conduzidas a uma altitude de 120 metros, gerando imagens de alta resolução. Paralelamente, foram coletados pontos de controle e de verificação em campo por meio de GNSS/RTK, garantindo a precisão do modelo digital. O processo envolveu uma base fixa para registro contínuo das coordenadas e uma base móvel para a marcação e coleta dos pontos.

A terceira etapa envolveu o processamento dos dados do aerolevanteamento, realizado no software Agisoft Metashape (LLC, 2026). As altitudes geométricas obtidas foram convertidas para altitudes ortométricas utilizando o modelo hgeoHNOR2020 do IBGE, assegurando a referência ao Datum Vertical de Imbituba-SC. Foi aplicada uma classificação semiautomática para distinguir

pontos de solo e elementos não pertinentes, como vegetação e construções, para obtenção do Modelo Digital de Terreno (MDT) da área imageadas.

Na quarta etapa, realizou-se o cálculo da Linha Média de Enchente Ordinária (LMEO), com base na Orientação Normativa ON-GEADE n° 003 (BRASIL, 2001). Para isso, foram utilizados dados fluviométricos da estação n° 15250000 (Guajará-Mirim), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) e Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) nas plataformas HidroWeb e SNIRH. Os níveis do rio foram analisados através do software SisCAH para tempos de retorno de 3, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Por fim, a quinta etapa tratou da delimitação e do zoneamento das áreas de inundação por meio do software QGis. O zoneamento foi realizado cruzando as cotas ortométricas de enchente com do MDT, gerando mapas para os tempos de retorno estudados. Por conseguinte, foram delimitadas a LMEO, a Linha Limite dos Terrenos Marginais (LLTM) e a faixa de 15 metros de propriedade da União.

RESULTADOS

O Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado através das imagens de aerolevanteamento por drone correspondeu à uma área de 3,91 km², apontou uma resolução de 2,66 cm/pixel e erros altimétricos variando em torno de 8,51 e 8,21 centímetros durante o processamento dos dados. Kwamme (2021) apresentou uma modelagem similar com erro de 7,44 cm, o que se aproxima muito do modelo gerado no estudo.

No estudo de Montelo e Olive (2021), o levantamento planialtimétrico realizado com drone apresentou uma precisão de 4,26 cm para uma área de 0,23 km². A diferença entre presente estudo e o levantamento dos autores citados pode ser inferido pela diferença dos parâmetros de voo como altura do voo e extensão da área visto que sobrevoos mais baixos e áreas menores possibilitam uma melhor resolução e menor erro altimétrico.

Dessa maneira é pertinente afirmar que o MDT gerado para o estudo pode ser considerado satisfatórios para os objetivos do estudo, com erro altimétrico menor que 10 cm.

Isso demonstrou que o mapeamento realizado atendeu à necessidade de modelagem com escala centimétrica, possibilitando a realização das análises detalhadas de inundação e uso e ocupação do solo da região. Essa precisão é especialmente relevante em regiões como Guajará-mirim, onde a topografia e a hidrologia locais exigem maior detalhamento para estudos eficazes.

A análise das áreas de risco mapeadas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) revelou que as zonas mais vulneráveis à inundação em Guajará-Mirim são amplamente ocupadas por

residências e comércios. Essa ocupação irregular aumenta a exposição da população a riscos significativos, especialmente em eventos de cheia, como os registrados em 2023. As inundações causaram sérios impactos econômicos e sociais, incluindo a destruição de propriedades e prejuízos à infraestrutura, como estradas e sistemas de drenagem, destacando a necessidade de medidas preventivas e de realocação estratégica.

O comparativo entre os 115 pontos coletados pelo GNSS/RTK e o MDT possibilitou realizar a validação do modelo e, dessa forma, apresentam-se a estatística relacionada à variação altimétrica, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Estatística das variações altimétricas entre MDT e pontos de GNSS/RTK

Média	Desvio padrão	Maior valor discrepante	Menor valor discrepante	Amplitude de variação
9,6 cm	12 cm	29,6 cm	0,16 cm	29,4 cm

Fonte: Autores (2026)

O quadro acima que demonstra a variação entre o modelo e os pontos coletados com GNSS/RTK, representa o nível de detalhamento e eficácia em relação ao modelo uma vez que a média e a amplitude de variação apresentada dentre todos os pontos coletados e comparados com o MDT gerado corresponde a 9,6 cm e 29,4 cm, respectivamente. Comparando esses dois valores, é possível inferir que poucos pontos apresentaram variação visto que a média e desvio padrão mantém próximo à 10 centímetros.

Essa amplitude pode ter sido gerada por alguns motivos como pontos na região de borda do imageamento que, segundo Kwamme (2021), menor quantidade de captura de imagens são realizadas, minimizando a sobreposição de imagens e, conseqüentemente, podendo reduzir a qualidade do modelo. Entretanto, o valor apresentado pode ser considerado isolado, visto que poucos apresentam esta mesma variação na mesma região.

Os dados fluviométricos da estação 15250000 de Guajará-Mirim possibilitou uma análise de uma série histórica superior a 20 anos, suficiente para determinação da LMEO que corresponde ao período de retorno de 3 anos. A análise e o trabalho estatístico realizado para diferentes TR no SisCAH possibilitaram a determinação das respectivas vazões e níveis que foram rebatidos em cotas ortométricas, relacionando com a altimetria conforme o Datum Vertical de Imbituba – SC. A tabela 2 abaixo apresenta os níveis do rio e a conseqüente atingimento no terreno.

Tabela 2 – Nível e cota atingida por período de retorno

	Período de retorno						
	3	5	10	20	25	50	100
Nível do rio (cm)	1128,494	1157,231	1196,878	1237,983	1251,594	1295,169	1340,835
Cota do terreno (m)	120,575	120,862	121,259	121,670	121,806	122,242	122,698

Fonte: Autores (2026)

A fusão dos dados do MDT com as cotas dos níveis da estação culminou na determinação das zonas suscetíveis à inundação. Primeiramente são demonstradas na Figura 1 a seguir, a Linha Média de Enchentes Ordinárias – LMEO e a Linha Limite de Terrenos Marginais – LLTM, assim como a faixa territorial de domínio da União.



Figura 1 - Delimitação da LMEO, LLTM e faixa de domínio da União

Por seguinte, na Figura 2 são demonstradas as zonas suscetíveis à inundação para os demais TR realizados nesse estudo que demonstram o impacto da enchente na região urbana do município de Guajará-Mirim.

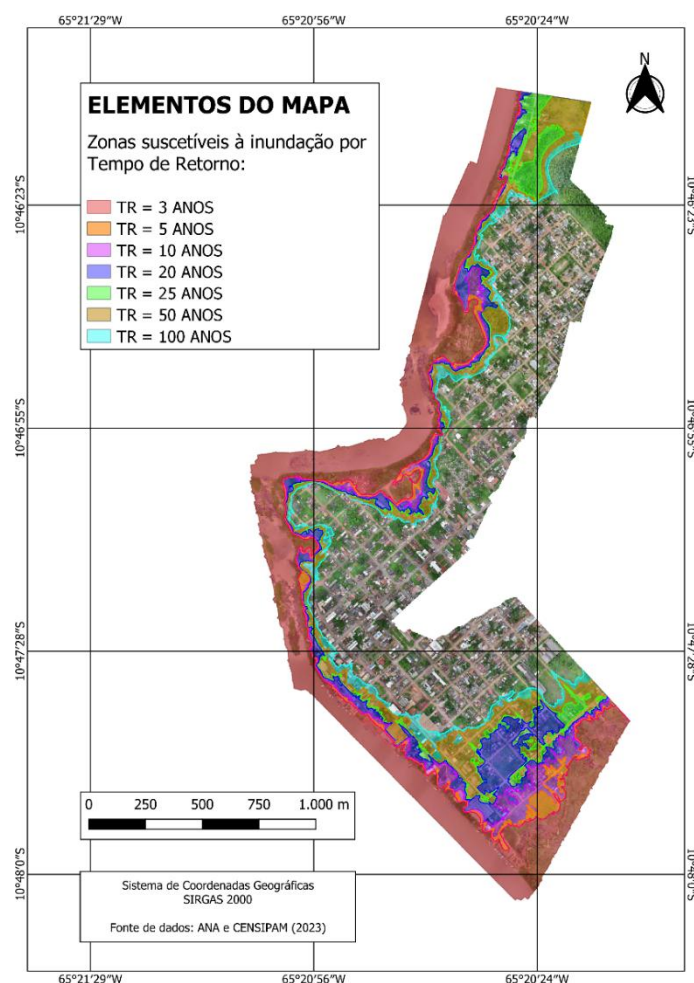


Figura 2 – Zoneamento das áreas de inundação

Além disso, realizou-se uma quantificação aproximada da área atingida pelos eventos com os diferentes tempos de retorno, o que infere o avanço do fenômeno, a seguir na Figura 3.

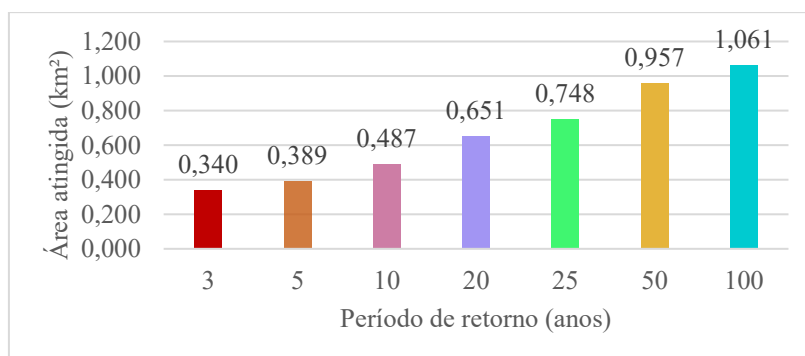


Figura 3 – Área impactada por período de retorno

Comparando os resultados deste estudo com outros realizados em contextos semelhantes, a metodologia baseada no uso de drones equipados com GNSS/RTK se mostrou eficaz e relativamente acessível. Estudos de Tucci (2018) e Kwamme (2021) também ressaltam a eficácia de técnicas modernas de levantamento aéreo para mapear regiões de risco e orientar políticas de planejamento.

No entanto, a aplicação em Guajará-Mirim oferece uma contribuição única devido à escassez de dados e à complexidade geográfica da região amazônica. Essa abordagem não apenas comprova a viabilidade do uso de novas tecnologias, mas também evidencia a necessidade de políticas públicas mais robustas para mitigar os impactos das inundações em regiões com alta vulnerabilidade.

Os impactos sociais incluem a perda de moradias e a interrupção das atividades econômicas da região urbana de Guajará-Mirim, afetando principalmente os terrenos de domínio da União e regiões adjacentes. A vulnerabilidade dessas comunidades, frequentemente de baixa renda, é exacerbada pela falta de infraestrutura adequada e pela insuficiência de políticas públicas eficazes de planejamento urbano. Dessa forma, o zoneamento baseado em dados precisos do MDT é essencial para subsidiar a criação de estratégias que visem a proteção das áreas mais críticas e a implementação de soluções sustentáveis.

A importância de um planejamento urbano mais eficaz, que integre a identificação e o controle de áreas de risco, torna-se evidente. Medidas como o zoneamento preventivo e a instalação de sistemas de alerta precoce podem reduzir significativamente os impactos sociais e infraestruturais. Essas ações, em conjunto com políticas de regulamentação do uso do solo, são fundamentais para a mitigação dos riscos de inundações e para a construção de comunidades mais resilientes e seguras.

CONCLUSÃO

A delimitação dos terrenos marginais, a partir da LMEO, e o zoneamento de áreas suscetíveis à inundação tornam-se ferramentas essenciais para o planejamento urbano, especialmente em regiões que carecem de infraestrutura e políticas públicas de resposta à desastres naturais, como Guajará-Mirim. A delimitação precisa de áreas de risco para diferentes tempos de recorrência permite que novas políticas sejam direcionadas de forma mais eficaz, promovendo a segurança da população e a sustentabilidade das infraestruturas de curto a longo prazo. O zoneamento contribui também na regulamentação do uso e ocupação do solo, prevenindo a construção em áreas suscetíveis a inundações e incentivando práticas de uso sustentável.

A implementação do zoneamento baseada em dados do MDT gerados por aerolevantamento, além de aumentar a precisão do dado na região estudada, facilita a identificação de regiões críticas e a elaboração de planos de contingência que minimizem os impactos sociais e econômicos dos desastres. Somado a isso, o estudo serve como objeto norteador para a criação de sistemas de alerta precoce e estratégias de adaptação urbana, aumentando a resiliência das comunidades e reduzindo a vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos.

Essa abordagem é particularmente importante em áreas da Amazônia, onde a complexidade ambiental e a falta de planejamento adequado podem agravar os efeitos das inundações e outros desastres naturais. A metodologia elaborada pode ser reaplicada para demais municípios que careçam desse tipo de dados para estruturação e planejamento, em especial dentro da região Amazônica.

O estudo traz informações relevantes quanto a área de estudo como a faixa de Terreno Marginal de 15 metros delimitadas pela LMEO e LLTM que, mesmo sob ocupação, impossibilita a regularização desses imóveis e, quando associadas com as zonas de inundação delimitadas, percebe-se que as zonas de menor tempo de recorrência a ocupam. Dessa maneira, as problemáticas emergem por questões de segurança pública, vulnerabilidade social e impacto socioeconômico.

Portanto, em virtude da qualidade dos produtos gerados e a sua significativa contribuição para a concepção de estratégias, projetos e iniciativas que podem ser implementados na cidade, o zoneamento enfatiza de forma imperativa a necessidade de planejar e conceber cidades que estejam harmonizadas com os princípios e metas estabelecidos na Agenda 2030 para o ODS 11, acordado internacionalmente pela comunidade federativa. Assim, constrói-se cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, mitigando os impactos a pessoas afetadas por desastres relacionados à água, a áreas de preservação ambiental e disponibilizando acesso a espaços públicos e seguros.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. Rio Mamoré está acima dos 10 metros e pelo menos 20 famílias são atingidas em Guajará, RO. G1 Rondônia, Guajará-Mirim, 22 abr. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2023/04/22/rio-mamore-esta-acima-dos-10-metros-e-pelo-menos-20-familias-sao-atingidas-em-guajara-ro.ghml>. Acesso em: 19 mai. 2026.

BRASIL. Ministério Público. Orientação Normativa nº 3, de 04 de junho de 2001. Orientação normativa que disciplina a demarcação de terrenos marginais e seus acréscidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 jul. 2001

KWAMME, C. M. L. Uso de drone aplicado em um estudo de alta resolução na caracterização de uma área de risco - Nova Friburgo - RJ. 2021. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/6138>. Acesso em: 19 mai. 2026.

LLC, A. *Agisoft Metashape User Manual, Professional Edition*, v. 2.3. 2026. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_3_en.pdf. Acesso em: 19 mai. 2026.

MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS. Terrenos de Marinha. Gov.Br. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/bens-da-uniao/terrenos-de-marinha>. Acesso em: 19 mai. 2026.

MONTELO, A. C.; OLIVE, C. C. R. Levantamento planialtimétrico com o uso de drone. 2021. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UniEvangélica, Anápolis, 2021. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/18942>. Acesso em: 19 mai. 2026.

SILVA, C. F. Metodologia para demarcação dos terrenos marginais do rio doce na zona urbana de Aimorés-MG. 2017. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos) – Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: http://dspace.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/1747/1/TCC_Cristiane%20Fernanda%20da%20Silva.pdf. Acesso em: 19 mai. 2026.

TUCCI, C. E. Gestão de riscos em recursos hídricos. *In*: TUCCI C. E. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: ABRH, 2018. p. 601-628.